

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DEL CABALLO ATLETA

Resumen de Conferencia Magistral

Curso 2018-2019

Prof. Dr. Francisco Castejón Montijano

Excelentísimo y Magnífico Sr. Rector de la Universidad de Córdoba, Ilmo. Sr. Secretario General de Universidades, Investigación y Tecnología de la Junta de Andalucía y Sr. Presidente del Consejo Social de la Universidad de Córdoba, Sra. Secretaria General de la Universidad de Córdoba y Sra. Decana de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, dignísimas autoridades, compañeros claustrales, señores y señoras, amigos todos. La Facultad de Veterinaria es referente en los estudios del caballo por todas las Facultades de Veterinaria en España. Es por eso y por mi condición de fisiólogo es por lo que he elegido el tema de esta lección magistral que lleva por título: “CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DEL CABALLO ATLETA”. Tema sobre el que he estado trabajando una gran parte de mi vida académica. Permítanme que dada la disposición del tiempo encomendado, me ciña a aquellas características que son más relevantes a mi juicio.

El caballo es un animal considerado como especie atlética. Durante el periodo prehistórico se fueron seleccionando de forma natural, aquellos individuos capaces de desarrollar mas velocidad para escapar a sus depredadores, y mayor resistencia para poder desplazarse largas distancias en busca de agua y de los mejores pastos para alimentarse. Posteriormente, al ser domesticado por el hombre, se fueron seleccionando aquellas características que eran más favorables para el trabajo de tiro y arrastre como la

fuerza y la velocidad y resistencia, para el transporte y para la guerra. Con la llegada de la era de industrialización, se abandonaron las anteriores prácticas y se fueron seleccionando aquellas cualidades más adecuadas para las diversas modalidades de competiciones deportivas. Y de ahí surge el caballo atleta.

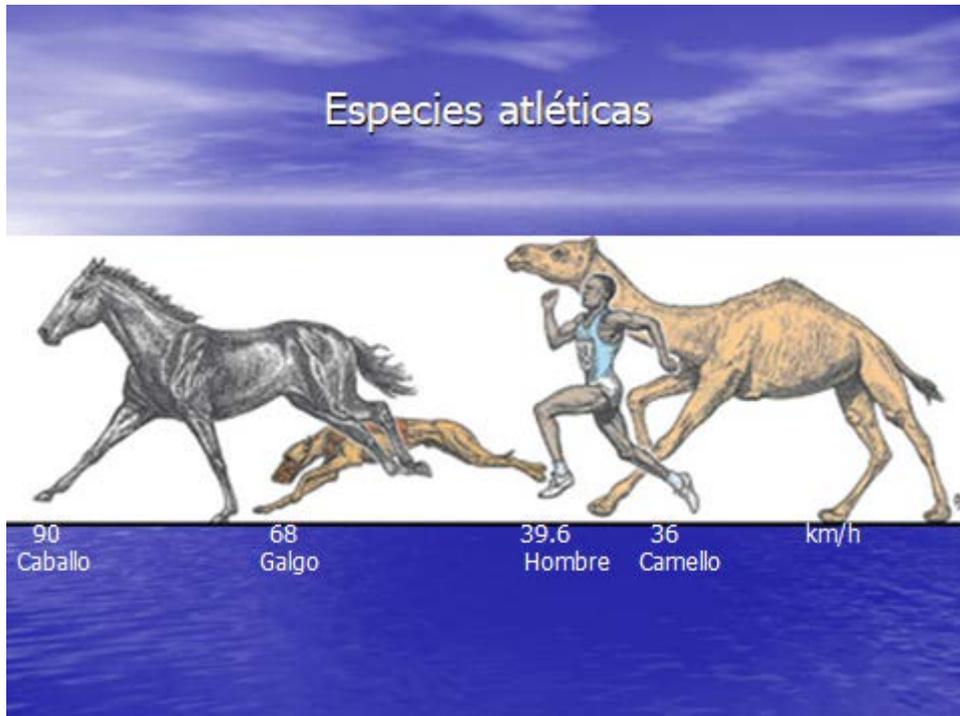


Fig. 1

Además del caballo, existen otras especies que son consideradas atléticas. Para que una especie animal se considere especie atlética se necesita ser utilizada para el deporte y además haber sido objeto de investigación por la ciencia. En la figura 1 se representan las cuatro especies consideradas atléticas, con las velocidades máximas alcanzadas por cada una de ellas. Como puede observarse el caballo está considerado la especie atlética por excelencia.



	Atleta humano	Caballo Pura Sangre Inglés	Galgo	Camello de carreras
VO_2 max/(kg/min)	69-85	<u>160</u>	100	51
Frecuencia Cardíaca de Reposo	40-60	<u>20-30</u>	100	33
Frecuencia Cardíaca máxima	190	<u>240</u>	300	147
Volumen Contracción de reposo	1.1-1.4	1.3-2.3	-	-
Volumen contracción máximo	1.5	2.5-2.7	-	-
Hematocrito de reposo	40-50	<u>32-46</u>	54	33
Hematocrito máximo	40-50	<u>60-70</u>	64	36
Pico de Lactato (mmol/l)	15	<u>30</u>	20	12
Fibra Muscular Tipo II	tipo II > 75%	tipo II > 80%	Tipo I I > 75%	tipo I > 70%
Fibra Muscular Tipo I	tipo I > 75%	tipo I ~ 30%		

Tabla 1

En la tabla 1, se presenta una visión comparativa de las especies atléticas. En el se puede ver con absoluta claridad como el caballo se destacan de las demás en todas aquellas características implicadas en la realización del ejercicio físico necesario para poder realizar una practica deportiva.

Dentro del caballo como especie atletica podemos destacar aquellas razas que se han ido seleccionando para la practica de las diferentes modalidades deportiva .

Para la velocidad se ha seleccionado al Cuarto de Milla en carreras de velocidad pura de 400 metros, y al PSI en carreras de medio fondo entre 1.500 y 7.000 metros; para el trote, el Troton o Standartbreed; para la resistencia el Arabe y Anglo-Arabe y para aquellas disciplinas que requieran fuerza como el salto o la doma, las razas como el Silla Frances, Hannoveriano, KWPN, PRE, etc.

El rendimiento atlético viene determinado por su capacidad aerobia, su capacidad anaerobia, su biomecánica o locomoción y su termorregulación

Para cubrir las demandas de energía durante el ejercicio el caballo combina en mayor o menor proporción las vías aerobias y anaerobias en función de la intensidad y la duración del ejercicio. A mayor intensidad y menor duración del ejercicio, participa en mayor proporción el metabolismo anaerobio, mientras que a mayor duración y menor intensidad participara en mayor proporción el metabolismo aerobio. De forma general se puede decir que existe un predominio del metabolismo aerobio sobre el anaerobio.



Fig. 2

La capacidad aerobia viene determinada por el consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$). El caballo tiene un $VO_2\text{max}$ 2.6

veces superior a una vaca que tiene un tamaño similar y entre 2-2.5 veces el de un atleta de élite en proporción a su peso corporal.

En la capacidad aerobia, están implicadas la toma de oxígeno del aire, la ventilación o transporte de oxígeno en las vías aéreas, la difusión de oxígeno en los capilares alveolares, la combinación del oxígeno con la hemoglobina, la distribución por el sistema circulatorio, y los procesos de oxidación de los sustratos energéticos que tienen lugar en las mitocondrias de las fibras musculares.

En la capacidad anaerobia hay que destacar la gran capacidad buffer de la masa muscular del caballo, que le permite continuar realizando ejercicio a pesar de las altas concentraciones de lactato e iones hidrogeno en el musculo. Su ritmo glucolítico alto que permite obtener energía para la contracción de forma rápida. Y además, su alta concentración muscular de fosfatos de alta energía, su alto porcentaje de fibras musculares tipo IIX, su gran área de la fibra muscular y su alta concentración de glucógeno muscular, que le permiten correr a gran velocidad, saltar con potencia y agilidad y realizar ejercicios de doma con potencia, precisión y brillantez.

El consumo máximo de oxígeno es el principal componente del rendimiento atlético. En él están implicados el sistema respiratorio, el sistema cardiovascular, el metabolismo muscular, la locomoción y la genética.

Sistema respiratorio

El sistema respiratorio del caballo se caracteriza por poseer un volumen pulmonar doble y una superficie de intercambio de gas 1.6 veces superior al bovino, que posee un tamaño similar al caballo. Así mismo posee una ventilación nasal obligada, lo que supone una ventaja que poseen los herbívoros al poder comer y

olfatear el alimento para identificarlo de forma simultánea, así como la capacidad de percibir a un posible predador. Esto es posible por la disposición anatómica del paladar blando que está en estrecho contacto con la base de la laringe, con lo que no es posible la comunicación entre orofaringe y nasofaringe

El registro espirométrico nos da la medida de diversos parámetros respiratorios.

El caballo en reposo mueve 60 litros de aire por minuto, que puede aumentar con el ejercicio intenso hasta 1400-1800 L/min, y con el ejercicio máximo hasta 3000 L/min.

La frecuencia respiratoria aumenta desde 12 r.p.m en reposo hasta 120 en ejercicio. En el caballo la frecuencia respiratoria durante el galope está ligada al tranco del caballo para mejorar su eficacia, de tal forma que el caballo inspira durante la fase de suspensión y expira durante la fase de apoyo. Esto hace que durante el galope los aumentos del volumen minuto se hacen preferentemente a expensas de aumentos del volumen corriente o volumen tidal.



Fig. 3

Para realizar estas medidas disponemos de una máscara respiratoria. En la figura 3 se muestran los diversos componentes de la máscara respiratoria. La máscara lleva conectada un transductor que mide volúmenes de aire, así como consumo de oxígeno y producción de CO_2 . Estas medidas pueden registrarse en un receptor y representarse en tiempo real una pantalla de ordenador.

La medición en tiempo real de los volúmenes de aire y de las concentraciones de O_2 , y del CO_2 , permite la posibilidad de procesamiento inmediato de estos datos gracias a la existencia de “software” específicos, con lo que podemos tener una información de los acontecimientos fisiológicos que tiene lugar en el intercambio de gases en el mismo momento que están ocurriendo.

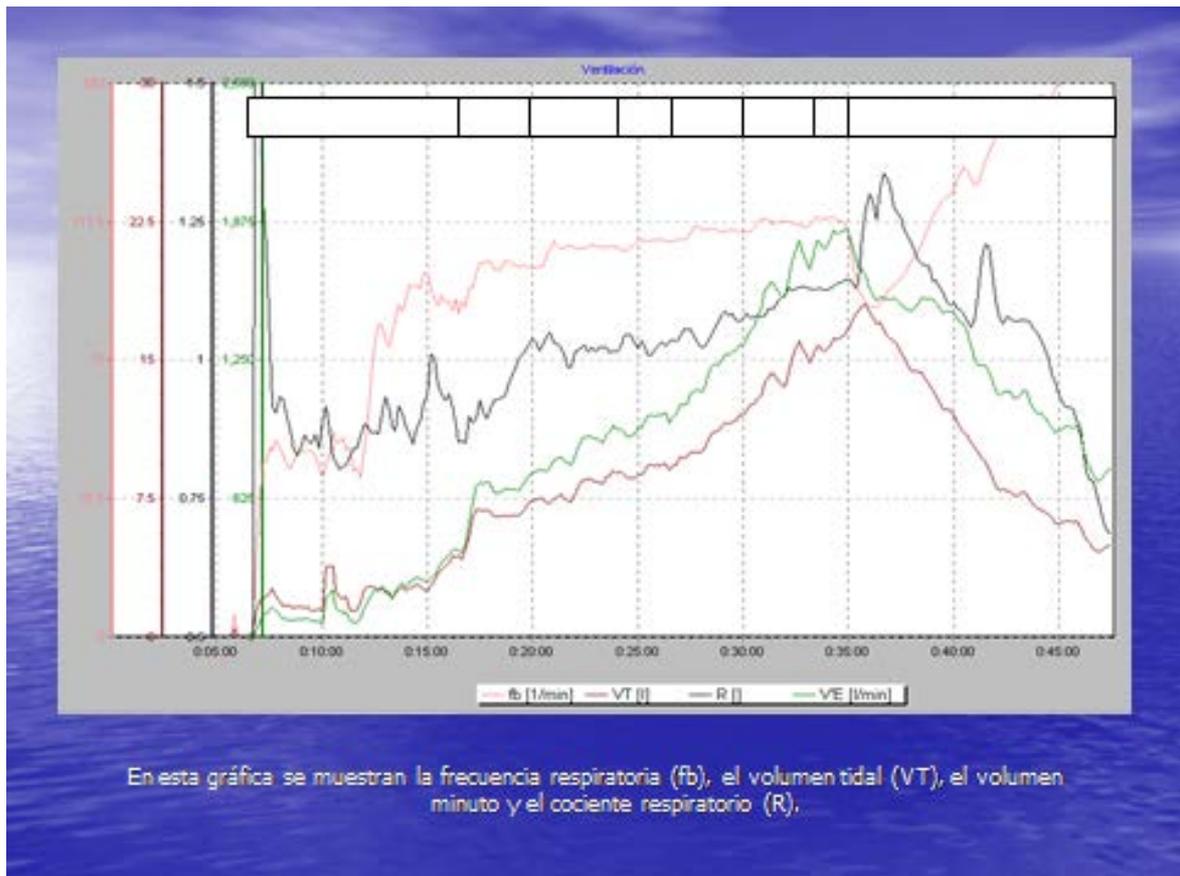


Fig. 4

En la figura 4 se muestra la gráfica de los valores de frecuencia respiratoria, el volumen tidal, el volumen minuto y el cociente respiratorio. Al realizar un test de ejercicio observamos como el volumen minuto, aumenta a expensas de, el volumen tidal y la frecuencia respiratoria. Al principio del ejercicio la participación de ambos es similar pero en el momento que se inicia el galope hay una mayor participación del volumen tidal por el hecho que supone la sincronización de la frecuencia respiratoria con la frecuencia de tranco del caballo.

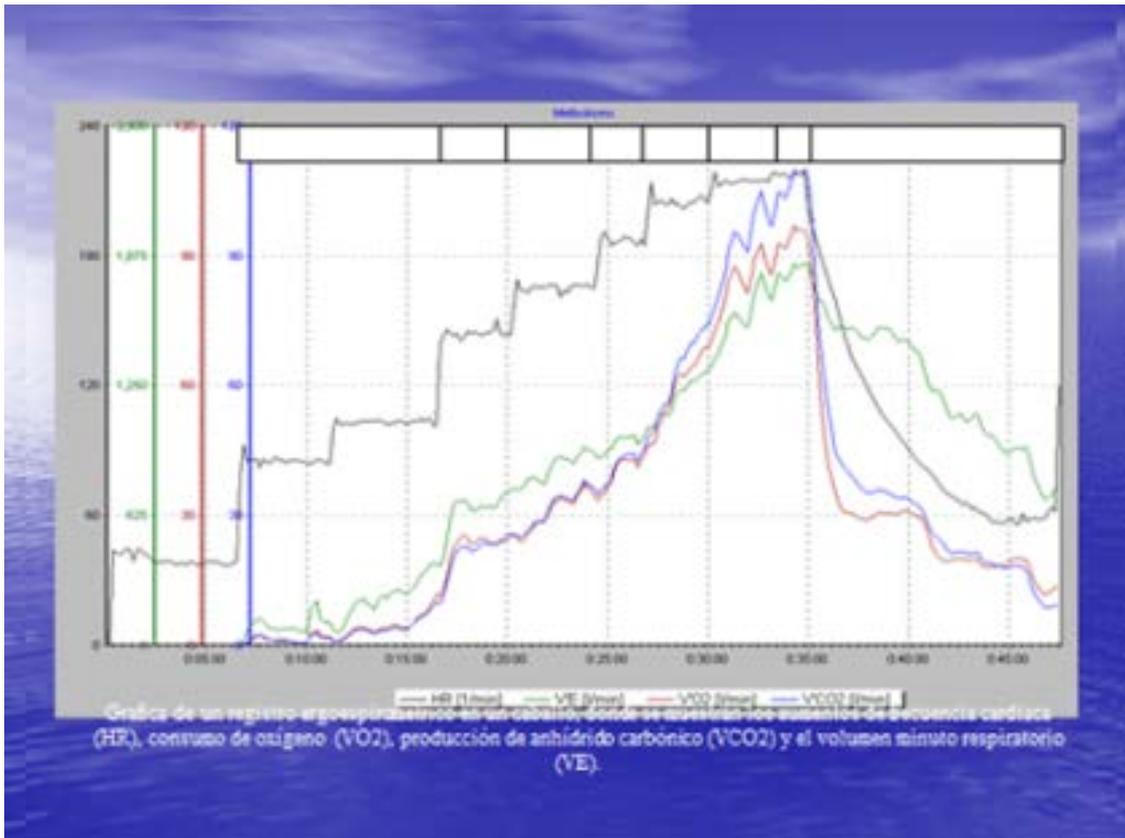


Fig. 5

En la figura 5 se representan los valores de frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno, producción de anhídrido carbónico y volumen minuto respiratorio. El consumo de oxígeno aumenta al aumentar la intensidad del ejercicio. Para esto, el caballo aumenta la ventilación por minuto, el gasto cardíaco y la cantidad de hemoglobina en sangre. Además, hay una redistribución del flujo sanguíneo tisular de modo que los músculos que trabajan reciban la mayor parte de este gasto cardíaco.

Relación entre consumo de oxígeno y velocidad de marcha

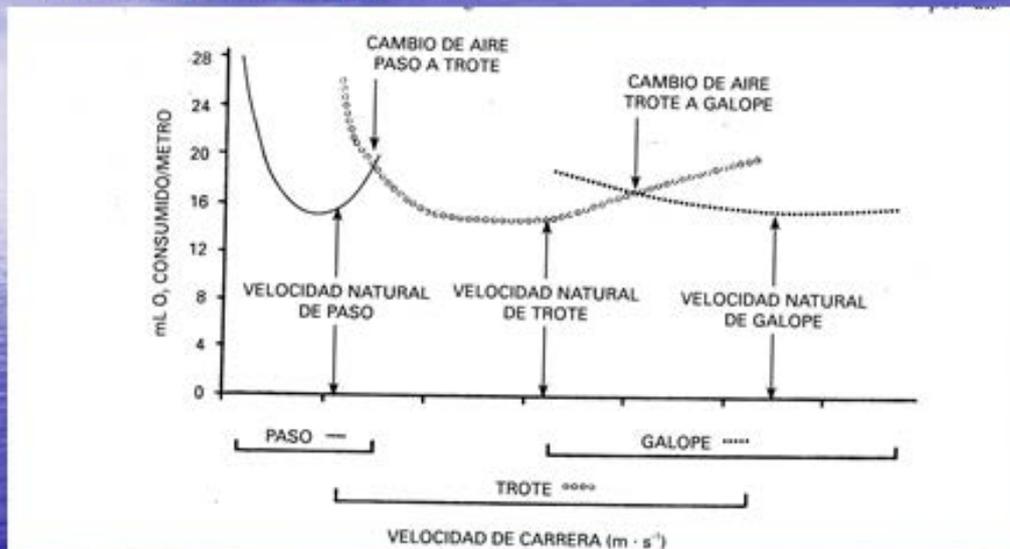


Fig. 6

En cada marcha o aire (paso, trote, galope), existe una velocidad óptima de consumo de oxígeno. Estudios realizados en cinta rodante han comprobado que en cada marcha, el consumo de oxígeno es mayor a baja velocidad, y va disminuyendo cuando la velocidad va aumentando hasta un punto en que vuelve a aumentar de nuevo. La velocidad a la que el consumo de oxígeno en cada marcha es mínimo, es la velocidad natural de ese caballo, y cambia de un animal a otro (Fig. 6). Las curvas de consumo de oxígeno en cada aire se cruzan, y es en ese punto donde los caballos cambian de marcha de forma natural. Estos cambios de marcha durante el ejercicio, previenen que el consumo de oxígeno se incremente en exceso.

Como hemos señalado anteriormente, durante el galope se produce una sincronización del tranco del caballo con su respiración, para que esta se vuelva más eficaz. Esto se explica mediante la teoría mecánica pistón-péndulo.

Esta teoría propone que los músculos respiratorios están ayudados por el mecanismo del tranco, de tal forma que el diafragma y la caja torácica están sometidos al efecto pistón-péndulo cuando el caballo galopa, lo que ayuda el esfuerzo realizado por los músculos respiratorios.

El efecto pistón se produce cuando las extremidades anteriores toman contacto con el suelo produciendo un efecto desacelerativo, y como consecuencia el contenido intestinal se mueve hacia delante comprimiendo el diafragma y ayudando a la espiración. El efecto péndulo se produce cuando las extremidades dejan el contacto con el suelo y se suspenden. En ese momento la escápula se desplaza hacia delante por la contracción del músculo serrato ventral, que también mueve hacia delante a las costillas, expandiendo la caja torácica y ayudando a la inspiración.

Sistema Circulatorio.

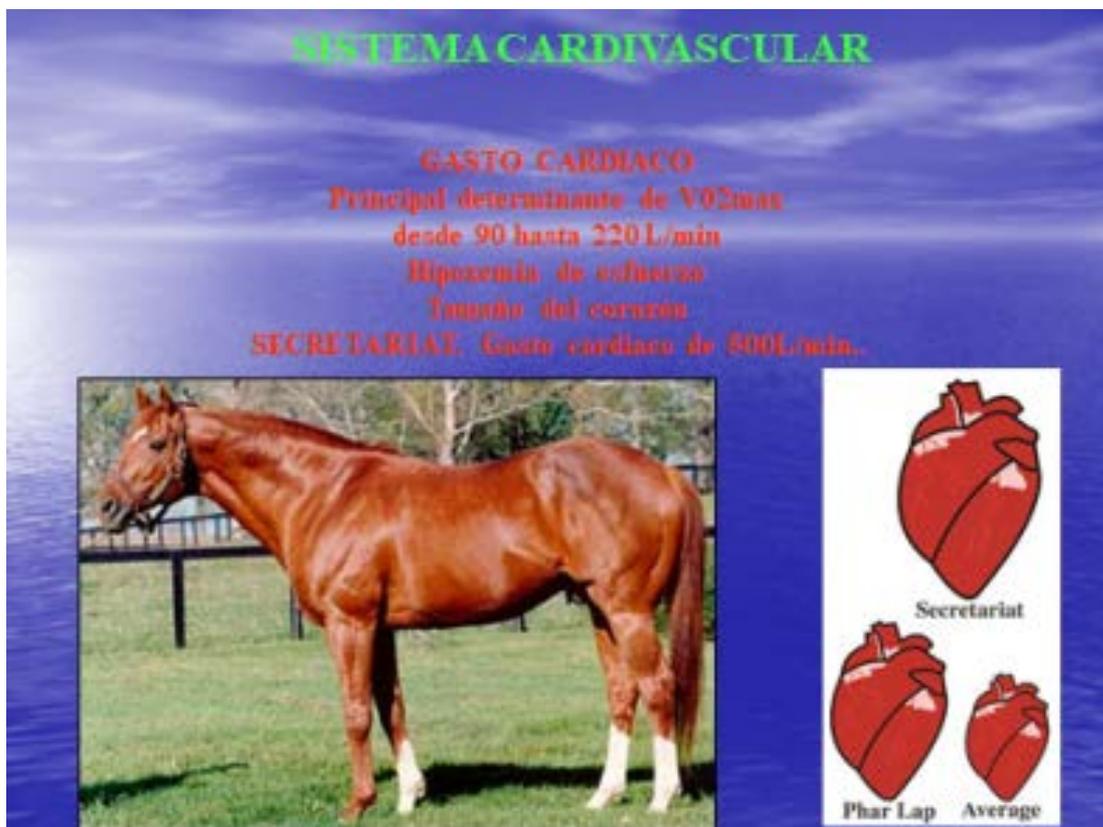


Fig. 7

El gasto cardiaco es el principal componente del $VO_2\text{max}$. Es el producto de la frecuencia cardiaca y el volumen de contracción por lo que está muy relacionado con el tamaño del corazón. Sus valores oscilan desde 90 hasta 220 Litros/min. pudiendo llegar en caballos de elite hasta los 500 Litros/min (Fig. 7).

Por otro lado se ha observado que con el ejercicio de máxima intensidad, se establece en el caballo una hipoxemia de esfuerzo debida a que al aumentar el gasto cardiaco, el tiempo de transito de los eritrocitos en el capilar disminuye, con lo que el tiempo de difusión de oxigeno entre el alveolo y el capilar disminuye. No obstante, la elevación del gasto cardiaco durante el ejercicio es tan grande, (13 veces) que compensa con creces la hipoxemia arterial.

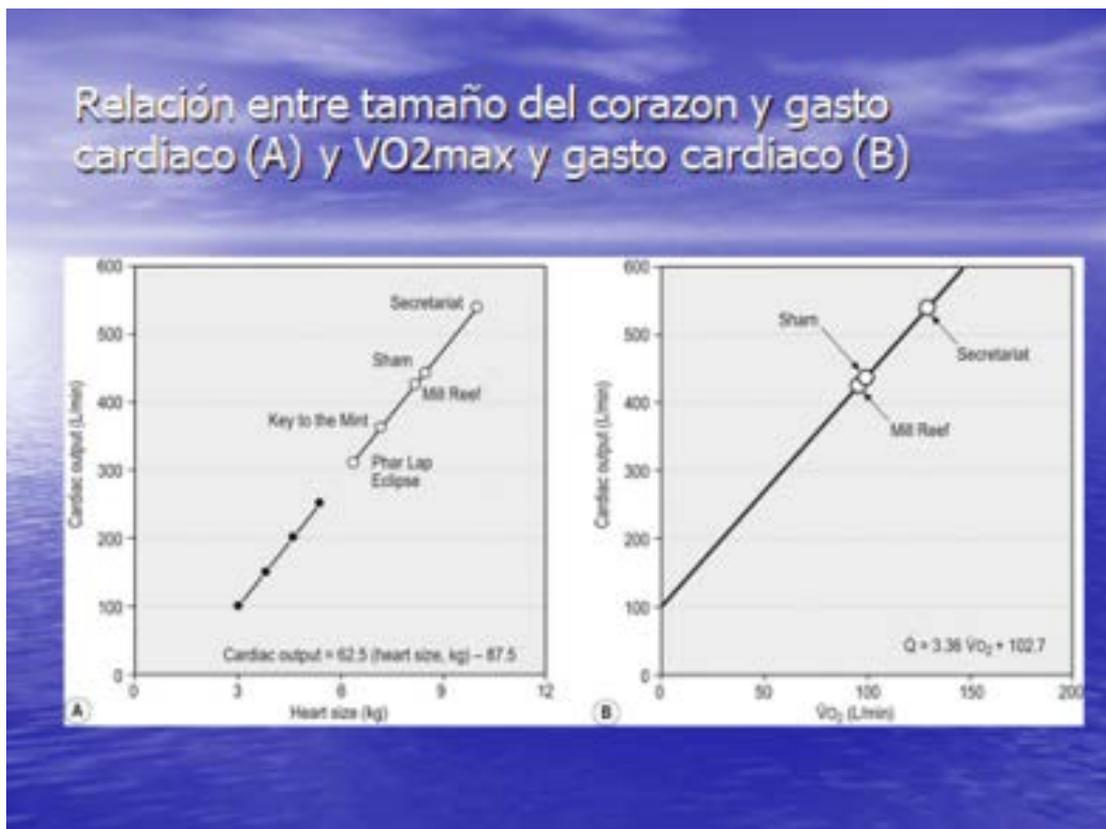


Fig. 8

En la figura 8, se muestra la relación lineal que se produce entre el gasto cardiaco y el tamaño del corazón ya que el tamaño del corazón está directamente relacionado con el volumen

contracción del corazón y este último es una parte importante del gasto cardiaco. De igual forma existe una relación lineal con el VO_2 lo que demuestra que a mayor aporte sanguíneo al torrente circulatorio, se produce un mayor aporte de oxígeno al musculo

Aquellas razas que tienen una mayor aptitud deportiva poseen un mayor tamaño cardiaco con relación a su peso corporal, lo que supone un mayor aporte sanguíneo al torrente circulatorio y como consecuencia una mayor capacidad aerobia

También se produce una redistribución del flujo sanguíneo con el ejercicio intenso, de tal forma que reciben un mayor flujo aquellas áreas más implicadas con el ejercicio, como es el caso del músculo.

La FC está regulada por el sistema nervioso autónomo. En reposo el sistema parasimpático actúa de freno en el corazón, estableciendo los valores de reposo de la frecuencia cardiaca, que en el caballo oscilan entre 20 y 40 Lat/min. Al iniciarse el ejercicio se aumenta la frecuencia cardiaca a medida que disminuye la actividad parasimpática hasta llegar a las 110 Lat/min donde esta desaparece totalmente. En ese momento comienza la estimulación simpática aumentando la FC progresivamente, llegando hasta valores máximos de 240 Lat/min. También se ha observado que existe una disminución de la Frecuencia Cardiaca de reposo con la edad y con el aumento del volumen de contracción producido como consecuencia del entrenamiento.

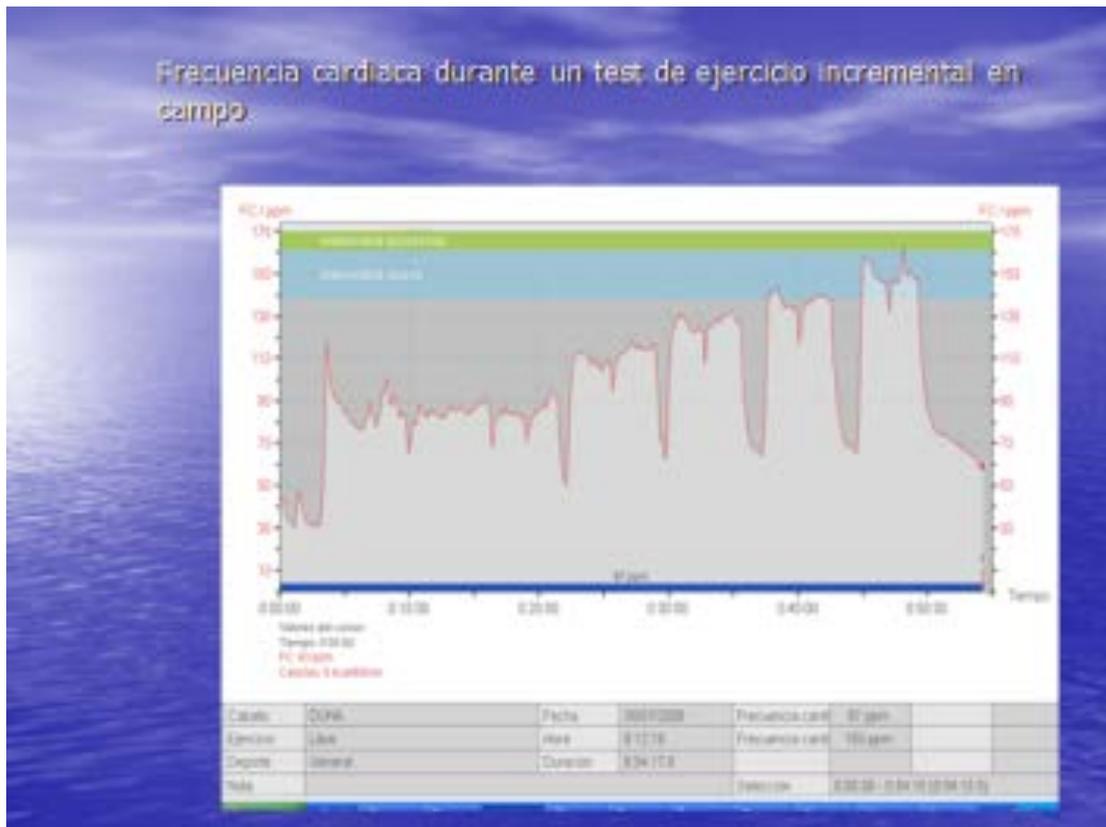


Fig. 9

En la figura 9 se muestra un registro de frecuencia cardiaca realizado durante un test de ejercicio incremental en campo, donde se observan los aumentos de frecuencia cardiaca en cada escalón de ejercicio, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio.

Sistema muscular

El musculo es de naturaleza heterogénea, existiendo diversos tipos de fibras de acuerdo con su funcionalidad.

Se han identificado tres isoformas de la cadena pesada de miosina del musculo del caballo, designadas como tipos I, IIA y IIX en estado puro y dos tipos intermedios, los tipos I+IIA y IIAX.

Los tipos I y IIA son fibras oxidativas ya que poseen un metabolismo aerobio con una gran capilarización y densidad mitocondrial y una velocidad de contracción lenta para las fibras

tipo I y rápida para las fibras tipo II. Las fibras tipo IIX poseen un metabolismo glucolítico con baja capilarización y densidad mitocondrial y una potencia y velocidad de contracción muy rápida. Las fibras intermedias son fibras que se encuentran en estado de transición.

El análisis de las actividades de enzimas musculares clave en las rutas metabólicas es un procedimiento habitual para el estudio de las capacidades oxidativa y glucolítica del músculo.

Existen dos grandes grupos. El primero de ellos integrado por las enzimas aerobias, como la 3-OH-acil coenzima A deshidrogenasa (HAD), citrato sintasa (CS), malato deshidrogenasa (MDH) y succinato deshidrogenasa (SDH). La primera de ellas controla el proceso de la beta-oxidación de los ácidos grasos hasta acetil CoA. Las tres restantes intervienen en los procesos de oxidación en el ciclo de los ácidos tricarbónicos.

El segundo grupo de enzimas, esta integrado por las glucolíticas. La hexokinasa (HK) actúa en la fosforilación de la glucosa de origen extracelular para su integración en el metabolismo fibrilar. La fosforilasa (PHOS) escinde el glucógeno en unidades glucosídicas, La fosfofructokinasa (PFK) es la enzima clave en la regulación de la glucólisis, y finalmente, la lactodeshidrogenasa (LDH) cataliza el paso del piruvato hacia lactato.

Para la obtención de energía para la contracción muscular, el músculo puede usar de forma directa los sustratos energéticos musculares o bien los extracelulares situados en el tejido adiposo o en el hígado. Para ello los triglicéridos del tejido adiposo son metabolizados hasta ácidos grasos libres y el glucógeno hepático es metabolizado hasta glucosa para que de esta forma sean transportados a través del sistema circulatorio hasta la célula muscular. No obstante, el músculo del caballo utiliza preferentemente para obtener energía para la contracción, el

glucógeno muscular, mientras que la glucosa sanguínea se reserva para ser usada por otros tejidos como por ejemplo el Sistema Nervioso Central.

Existe una relación entre la velocidad y/o duración del ejercicio con la participación de los diversos sustratos energéticos. En ejercicios lentos hay una mayor participación de lípidos, y a medida que la velocidad aumenta disminuye progresivamente la participación de los lípidos y aumenta de igual forma la participación del glucógeno muscular.

Sistema locomotor

La locomoción del caballo es energéticamente muy eficiente ya que los músculos y tendones por sus propiedades elásticas tienen la capacidad de almacenar energía y utilizarla como la acción de una catapulta, reduciendo a la mitad el esfuerzo del caballo durante el galope.

Existen estudios que relacionan el gasto energético con la velocidad de carrera en el caballo, de tal forma que, a mayor velocidad de carrera, mayor es el gasto energético.

En cada aire, la relación se hace exponencial a medida que aumenta la velocidad, sin embargo, la relación se mantendría lineal siempre que se le permita al caballo cambiar de aire libremente. El caballo de forma natural siempre buscará el aire más eficiente para cada velocidad.

Genética

Las características de rendimiento en el caballo son heredables y han sido objeto de selección por los criadores de caballos desde hace varios siglos. Se han reproducido caballos y yeguas de elite entre sí, en base a seleccionar individuos con los mejores tiempos de carrera, importancia y número de competiciones ganadas, así como dinero ganado en competición.

Sin embargo, dado el carácter poli genético de estos caracteres, su heredabilidad es baja.

En la actualidad, al igual que en el hombre y otros mamíferos, en el caballo se ha identificado un gen de la angiotensina (ACE) asociado con el rendimiento atlético que tiene un alto grado de heredabilidad, debido a la selección genética llevada a cabo durante varios siglos en el caballo.

A continuación, y para concluir, me van a permitir mostrarles un video realizado hace unos años en el que se muestra el Centro de Medicina Deportiva Equina donde realizamos nuestras actividades de investigación, docencia y asistencial.

<https://www.youtube.com/watch?v=INd1cqy07bE>